مياه المحيطات

المحتويات

الجداول

الأشكال

المصادر والمراجع

مياه المحيطات

يشغل الماء حجماً أكبر من حجم أي مركب كيماوي آخر، على سطح الأرض. لذا، تسمى الأرض كوكب الماء، أو الكوكب الأزرق؛ وذلك لسيادة المسطحات المائية فيها. فالماء يغطي ما نسبته 70.8% من سطح الأرض، في حين يشغل اليابس منه 29.2% فقط[1]. وتقدر كمية المياه، في الغلاف المائي للأرض، بنحو بليون ونصف بليون كيلومتر مكعب، أو ما يساوي 15 ألف مليون بليون لتر[2]. وتشكل مياه البحار 97% من إجمالي المياه على الأرض. ويشكل الماء 85% من كتلة المخلوقات البحرية، وهو الوسط، الذي تجري فيه التفاعلات الكيماوية الحيوية لبقاء الأحياء البحرية. وخواص ماء المحيطات، هي خواص المياه العذبة نفسها، زائداً ما طرأ عليها من تعديل، نتيجة للعاملين التاليين:

1. تفاعل المياه مع صخور القشرة الأرضية، المكونة للأحواض المحيطية؛ والمكونة للقارات، من خلال الدورة الهيدرولوجية.
2. تفاعل المياه مع الأحياء البحرية.

لذا فإن الفهم الأفضل للعمليات الطبيعية، الجارية في مياه المحيطات؛ لا بد له من النظر في خواص الترابط بين جزيئات الماء، وانعكاس هذه الروابط على خواصه الفيزيائية والكيماوية؛ وفي طبيعة تفاعل الغلاف المائي مع الغلافين، الصخري والغازي؛ إلى جانب تأثر المياه المحيطية بصخور القشرة، والأحياء البحرية.

أولاً: خواص الماء

إن الماء، بما له من خواص، فيزيائية وكيماوية، هو أهم مركب على الأرض؛ بل لا حياة عليها من دونه. ومن صفاته الظاهرة، أنه عديم اللون[3] Colorless، والرائحة Odorless، والطعم Tasteless[4].

ولكن خواص الماء مرتبطة بتركيبه الجزيئي الفريد؛ لذا، لا بد من تناوله، قبل استعراضها.

التركيب الجزيئي للماء

---

[1] Harold Thurman, “Essentials of Oceanography”, Charles Merrill Pub. Co., Sedney, 1983, P. 89.

[2] Payne Charles, “Physical Science” W. M. Brown publishers, FWA, 1974, P. 345.

[3] ولكن المياه العميقة تبدو زرقاء، لأن الماء يعكس الأشعة الزرقاء.

[4] وحتى إن كان للماء رائحة أو طعم فلن يميزها الإنسان لوجود هذا السائل في فيه بشكل دائم.

إن من أهم خواص الماء، هو وجوده في الحالة السائلة، تحت درجات الحرارة العادية، التي تكون فيها أي مادة، لها وزنه الجزيئي نفسه، في حالته الغازية. فحالة المادة (صلبة، سائلة، غازية)، مرتبطة بوزنها الجزيئي Molecular Weight ؛ إذ إن الجزيئات الصغيرة تكون غازاً، والمتوسطة سائلاً، والكبيرة صلبة؛ وذلك نابع من أن قوة ترابط الجزيئات بعضها ببعض تعتمد على حجمها[5]. لذا، فعند مقارنة الماء بمواد أخرى شبيهة، فالمتوقع أن يكون غازاً (الجدول الرقم 63)، تحت ظروف درجات الحرارة العادية، على سطح الأرض. ويضاف إلى ذلك، أن كمية الحرارة اللازمة للإذابة، وتلك اللازمة للتبخر، هما عاليتان، بالنسبة إلى الماء.

وعمليتا الإذابة والتبخر، ليستا إلا فك للروابط البينية بين الجزيئات. وبما أن جزيئات الماء، يستهلك تفككها كمية أكبر من الطاقة (الحرارة)، فإن الروابط بينها، هي أقوى منها بين جزيئات المواد الأخرى[6]، المشابهة للماء في تركيبها الجزيئي، كتلك التي تتركب جزيئاتها من ذرتين من الهيدروجين، وذرة من عنصر آخر، مثل كبريتيد الهيدروجين H_2S مثلاً (الشكل الرقم 546). وهو ما حمل العلماء على البحث عن قوة إضافية، تربط جزيئات الماء بعضها ببعض.

ثمة تجاذب ضعيف، نسبياً، بين جزيئات أي مادة، ناتج من القوى الإلكتروستاتيكية، بين الذرات الموجبة الشحنة، في أحد الجزيئات، والذرات السالبة الشحنة في جزيء آخر. ويتغلب التجاذب على التنافر الإلكتروستاتيكي، بين ذرات الجزيئات وإلكتروناتها.

قوة التجاذب هذه، تعرف بقوة فان دير والس[7] Van Der Waals Force. وتصبح فاعلة، عندما تتقارب الجزيئات تقارباً كبيراً؛ كما في السوائل، والمواد الصلبة. ويزداد التجاذب قوة، كلما كان الجزيء أثقل؛ لذا، تزداد كمية الطاقة، اللازمة للتغلب على قوة فان دير والس، لتغيير حالة المادة، كلما ازداد الوزن الجزيئي. ونتيجة لذلك، تزداد نقطة ذوبان المواد ونقطة غليانها، مع ازدياد ذلك الوزن.

ولتكسير الروابط بين الجزيئات، لا بد من ضخ طاقة بينها، تتغلب عليها أو على بعضها؛ فتتمكن الجزيئات من زيادة سرعة حركتها. وهذه هي الروابط، التي ينبغي التغلب عليها، لتحويل المادة من حالة الصلابة إلى الحالة السائلة، أو من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية. في الحالة الصلبة، تكون قوة فان دير والس قوية جداً، الجزيئات متقاربة جداً؛ فلا تستطيع أن تتحرك؛ وإنما تقتصر على الاهتزاز، وهي في مكانها.

---

[5] Arthur William, “Introduction of Chemistry”, Addison – Wesley Publishing Co., London, 1981, P. 145.

[6] Grant Gross, M, “Oceanography”, Charles Merrill Pub. Co., Columbus, 1985, P. 35.

[7] Harold Thurman, “Essentials of Oceanography”, P. 90.

في الحالة السائلة، تكون الجزيئات قد اكتسبت قدراً من الطاقة، يمكنها من التغلب على كثير من روابط فان دير والس؛ وتتحرك حول بعضها بحرية أكثر؛ ولكنها تظل مشدودة بعضها إلى بعض. وفي هذه الحالة، تظهر جميع أشكال حركة الجزيئات، من اهتزاز Vibration، ودوران Rotation، وانتقال Translation.

في الحالة الغازية، تنطلق الجزيئات، وتتحرر من جميع الروابط. ويصبح العشوائي الانتقال، هو السمة الوحيدة لحركة بعضها حول بعض. ويقتصر التأثير المتبادل بينها، في هذه الحالة، على اصطدامها، خلال حركتها العشوائية.

لاحظ العلماء وجود قوة تربط بين جزيئات الماء، إلى جانب قوة فان دير والس. ويعزى إلى تلك القوة الإضافية ارتفاع درجة حرارة نقطة ذوبان الماء، ونقطة غليانه، عما هما عليه في المركبات الشبيهة به. وتلك القوة مرتبطة بالشكل الفريد لجزيء الماء، وتوزع الشحنات في الذرات المكونة للجزيء.

توضح الأشعة السينية، أن الذرات في جزيء الماء، لا تترابط بشكل خطي، ولا بزاوية قائمة (الشكل الرقم 546أ). ولكن الارتباط بين ذرتي الهيدروجين وذرة الأكسجين، بزاوية 104.5°؛ وهو ارتباط تساهمي[8] Covalent Bond ـ يكون فيه إلكترون الهيدروجين مشتركاً بين الذرتين[9] (الشكل الرقم 546ب). ونتيجة للطبيعة القطبية للروابط في جزيء الماء، تتوزع الشحنات الكهربائية توزعاً غير متوازن؛ إذ تحمل ذرة الأكسجين شحنة سالبة، وتحمل ذرتا الهيدروجين شحنتين موجبتين. وحقيقة قطبية جزيء الماء، تعني جذب جانبه الموجب للجانب السالب من جزيء آخر (الشكل الرقم 546ج). هذا التجاذب بين جزيئات الماء، يفسر كمية الحرارة العالية، نسبياً، اللازمة لفصل الجزيئات بعضها عن بعض، عند تحويلها من حالة السيولة إلى حالة الغازية، مثلاً، أو من حالة الصلابة إلى حالة السيولة. حتى عند تجمد الماء، وتكون البلورات الثلجية، التي تترابط فيها الجزيئات، في الغالب، بشكل سداسي، تظل هذه الروابط موجودة. هذه الروابط الإضافية، هي ما يطلق عليه الروابط الهيدروجينية[10] Hydrogen Bonds (الشكل الرقم 547). فذرة الهيدروجين في جزيء الماء، ترتبط بذرة أكسجين ارتباطاً تساهمياً، وتنجذب إلى ذرة أكسجين أخرى من جزيء آخر، انجذاباً قطبياً، ناتجاً من شحنته السالبة، والشحنة الموجبة العالية، نسبياً، لذرة الهيدروجين، والناتجة من جهدها

---

[8] الارتباط التساهمي Covalent Bond حيث ترتبط الذرتان وتسهم كل منهما بإلكترون مشترك في المدار الخارجي لكل منهما.

[9] Arthur William, "Introduction of Chemistry",, P. 146.

[10] الروابط الهيدروجينية Hydrogen Bonds يقصد بها الترابط بين جزيئين يحويان أيون الهيدروجين الموجب الشحنة وأيون الأكسجين Oxygen O^{-2} أو أيون النيتروجين Nitrogen N^{-3}، أو أيون الفلور Fluorine F^{-1}، والتجاذب ينتج عن الطبيعة القطبية للروابط، ويعد الماء من أبرز أمثلة المواد، التي ترتبط جزيئاتها بالروابط الهيدروجينية.

الأيوني[11] العالي Ionic Potential [12]. فالروابط الهيدروجينية أقوى من روابط فان دير والس، ولكنها أضعف كثيراً من الروابط التساهمية. ففي حين لا يتطلب فك جزيء جرامي Mole (6.02×10^{23})، من الروابط الهيدروجينية، أكثر من 5 كيلوات كالوري 5 Kcal، يتطلب فك مقدار مساوٍ، من الروابط التساهمية[13]، 90ـ100 كيلو كالوري[14]. الروابط التساهمية، هي داخل الجزيء؛ بينما الروابط الهيدروجينية، هي بين الجزيئات، وهي ناتجة تجاذب الأقطاب، السالبة والموجبة، لجزيئات المادة.

ترتبط ذرتا الهيدروجين، في جزيء الماء H_2O، ارتباطاً هيدروجينياً بجزيئين مجاورين؛ إضافة إلى ارتباط ذرة الأكسجين في الجزيء، بذرتي هيدروجين أخريين، من جزيئين مجاورين آخرين، ارتباطاً هيدروجينياً (الشكل الرقم 547).

لذا، فكل جزيء ماء، تربطه روابط هيدروجينية بأربعة جزيئات مجاورة، في تنظيم رباعي[15] Tetrahedral Arrangement. وتشير القياسات إلى أنه عند درجة حرارة 20° مئوية، يوجد خمسة جزيئات من الماء مرتبطة بعضها ببعض؛ ولكن عدد الجزيئات المترابطة، في كل جزيء، يزداد مع انخفاض درجة الحرارة، وينقص مع ارتفاعها.

هذه الروابط بين جزيئات الماء، هي سبب الحاجة إلى مزيد من الحرارة (الطاقة) لفصل تلك الجزيئات، عند تحول الماء من حالة السيولة إلى الحالة الغازية، ومن ثلج إلى سائل. كما تفسر هذه الروابط، كذلك، السعة الحرارية[16] Latent Heat العالية للماء.

وبعبارة أخرى، فإنه يمكن الاستعانة بشكل جزيء الماء، والتوزيع القطبي للشحنات فيه، والروابط الهيدروجينية بين جزيئاته، لتفسير بعض خواصه الفيزيائية، مثل، قدرة الماء على الإذابة؛ والخواص الحرارية للماء، والتغير في كثافته وفي لزوجته، مع التغير في درجات الحرارة، والشد السطحي للماء.

ثانياً: قدرة الماء على إذابة المواد الأخرى

---

[11] الجهد الأيوني Ionic Potential هو نسبة شحنة الأيون إلى نصف قطره.

[12] Harold Thurman, “Essentials of Oceanography”, P. 91.

[13] Arthur William, “Introduction of Chemistry”, P. 148.

[14] كيلوكالوري Kcal يساوي 1000 كالوري أو 1000 سعر حراري.

[15] Harold Thurman, “Essentials of Oceanography”, P. 94.

[16] السعة الحرارية للمادة هي كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرار ة، درجة مئوية واحدة، وللماء سعة حرارية عالية مقارنة بالكثير من المواد الأخرى.

للماء قدرة فائقة على إذابة كثير من المواد، إنما بدرجات متفاوتة؛ والاحتفاظ بها ذائبة فيه. فما أن يحرك السكر، مثلاً، في كوب الشاي، حتى يذوب ويختفي. وكذلك الملح في الحساء. بل إن بعض مظاهر سطح الأرض، ناجمة عن إذابة الماء لبعض مكونات الصخور. فكيف يمكن الماء أن يكون فعالاً في إذابة هذه المواد المختلفة؟

تدفع جزيئات الماء قطبيتها إلى الأسطح السالبة الشحنة[17]، بالطرف الذي به ذرة الهيدروجين الموجبة الشحنة، وإلى الأسطح الموجبة الشحنة بالطرف الذي به ذرة الأكسجين السالبة الشحنة تجاه. هذا التوجيه لجزيئات الماء، في المجال الكهربائي[18] Electrical Field، يعادل شحناته، ويبطل مفعولها Neutralize the Field.

وحينما تتراص جزيئات الماء وتترابط، تحت تأثير قطبية الشحنات، في تجمعات معقدة؛ ترتفع قدرتها على تخفيض شدة المجال الكهربائي[19]. وبناء عليه، ينخفض التجاذب الإلكتروستاتيكي Electrostatic Attraction، بين الأيونات[20]. ويمكن الماء أن يخفض هذه الروابط إلى 0.0125 من قوتها الأصلية؛ ما يؤدي، في الغالب، انفصال الأيونات بعضها عن بعض.

ملح الطعام، كلوريد الصوديوم، Sodium Chloride، $Na^{+}Cl^{-}$؛ وهو مركب ذو روابط أيونية[21] Ionic bonds، يلفت إليه، مثلاً، أمران:

1. يوجد في ذرة الصوديوم Na 11 بروتوناً، في النواة، و11 إلكتروناً حولها؛ واحد فقط من هذه الإلكترونات في الغلاف الخارجي[22] Valence Shell؛ ينجذب إلى ذرة الكلورايد Cl، التي بها 17 بروتوناً، في النواة، و17 إلكتروناً حولها؛ 7 منها فقط في الغلاف الخارجي. وترتبط أيونات الصوديوم الموجبة الشحنة Na^{+}، بأيونات الكلورايد السالبة الشحنة Cl^{-} (الشكل الرقم 547أ)، فتكون البلورات الملحية الصلبة.
2. عند وضع الملح في الماء، تبدأ البلورات الملحية بالذوبان، نتيجة لانخفاض التجاذب الإلكتروستاتيكي، بين أيونات الصوديوم وأيونات الكلورايد، إلى 0.0125 من قوتها الأصلية؛ ما

---

[17] الشحنة الكهربائية Electric Charge من الخواص الأساسية للجسيمات الأولية Elementary Particles وقد تكون الشحنة سالبة، أو موجبة، أو صفر؛ وتقاس الشحنات بما يسمى كولومب Coulomb. ويساوي الكولومب الواحد مجموع الشحنات الكهربائية لعدد 6.25×10^{18} إلكتروناً.

[18] ا ل الكهربائي Electrical Field: الأثر التراكمي للشحنات الكهربائية.

[19] Harold Thurman, “Essentials of Oceanography”, P. 90.

[20] الأيونات: ذرات أو جزيئات مشحونة بشحنات سالبة، أو موجبة ناتجة عن اكتساب أو فقدان إلكترونات.

[21] الروابط الأيونية: يقصد ا الفوى الإلكتروستاتيكية التي تربط اثنين أو أكثر من الأيونات ببعضها.

[22] فالنسي شيل Valence Shell: تشير إلى الغلاف الخارجي، وتشير فالنسي Valence إلى قوة الارتباط بين الذرات.

يسهل انفصالها بعضها عن بعض. إذ تنجذب أيونات الصوديوم، بشحنتها الموجبة، إلى القطب السالب لجزيء الماء؛ وتنجذب أيونات الكلورايد، بشحنتها السالبة، إلى القطب الموجب (الشكل الرقم 547ب).

يتفاعل الماء مع كثير من المواد، بطرائق مختلفة. ولذلك يطلق عليه، أحياناً، "المذيب العالمي" Universal Solvent؛ على ما في هذا التعبير من المبالغة؛ إذ إن هناك العديد من المواد، لا تذوب فيه. وعندما تذوب مادة في الماء، فإن جزيئاتها وأيوناتها، تنجذب إلى جزيئاته، بالطريقة نفسها، التي تنجذب بها جزيئاته بعضها نحو بعض.

ذوبان مادة في مادة أخرى، ينتج محلولاً[23] Solution. وكل إذابة لمادة صلبة في مادة سائلة، يكون السائل هو المذيب، والصلب هو المذاب؛ فالسكر أو الملح، كما في المثال السابق، هو المذاب Solute، والماء هو المذيب Solvent.[24]. ولكن الإذابة، لا تقتصر على إذابة مادة صلبة فقط، في أخرى سائلة. فقد تذوب مادة غازية، مثلاً، في مادة سائلة، كذوبان الغازات في ماء البحر، مثل، النيتروجين، والأكسجين، وثاني أكسيد الكربون؛ وكذلك الغازات المذابة في المشروبات الغازية. وقد تذاب مادة سائلة في مادة غازية، مثل بخار الماء في الهواء. وقد تذاب مادة صلبة في مادة صلبة، كما يحدث في حالة خلط بعض المعادن الفلزية ببعض المواد، لإكسابها صفات إضافية Metallic alloys، مثل: البرونز Bronze، والفولاذ غير القابل للخدش Stainless Steel. ولكن الاهتمام، هنا، منصب على المواد الذائبة في ماء البحر؛ وأهمها: الأملاح، والغازات، وبعض المعادن الأخرى.

ويقاس تركز المواد الذائبة في المحاليل بطرائق عدة. وقد يعبر عنه بالنسبة المئوية، كمقياس لأجزاء المادة الذائبة إلى كل مائة جزء من المحلول؛ أو بالوزن في وحدة الحجوم، مثلاً، جرام في السنتيمتر المكعب؛ أو بوزن المادة الذائبة مقابل وزن المحلول، أو حجمها مقابل حجمه. وقد تعارف دارسو البحار والمحيطات، على الإشارة إلى تركز الأملاح في مياها بالنسبة؛ فمتوسط ملوحة مياه البحار 3.5% (خمسة وثلاثون في الألف). وللتعبير بالوزن عن تركزها، تستخدم الإشارة إلى كمية الأملاح (بالجرام) الذائبة في كل كيلوجرام من ماء البحر؛ وتبلغ في المتوسط 35 لكل كيلو جرام.

ثالثاً: الخواص الحرارية للماء

إن من أهم الخواص الحرارية للماء، سعته الحرارية العالية. فهو أعلى السوائل سعة حرارية، وأعلاها حرارة نوعية[25] Specific Heat، للتبخر. وهو ذو قدرة على التوصيل الحراري[26] Thermal

---

[23] المحلول Solution: هو خليط متجانس من نوعين أو أكثر من الذرات، أو الجزيئات، أو الأيونات.

[24] Payne Charles, "Physical Science" P. 163.

[25] الحرارة النوعية Specific Heat: ثابت نسبي يربط بين التغير في الطاقة الداخلية للمادة ودرجة حرارتها المطلقة.

Conductivity، تفوق جميع السوائل، عدا الزئبق Mercury. وحرارته الكامنة للإذابة Cotent Heat of Melting أو Heat of Fusion، عالية. ومن أبرز نتائج هذه الخصائص، أن الماء، على سطح الأرض، يعدل من درجات الحرارة، العالية والمنخفضة؛ ويحول دون تقلباتها السريعة.

معظم المواد، تتقلص عندما تبرد أو تتجمد؛ ولكن الماء، لا يخضع لهذه القاعدة. فلو وضعت زجاجة مشروب غازي في مجمدة (الفريزر)، مدة أطول من اللازم، حتى تتجمد، فإنها تنكسر؛ نتيجة لتمدد الماء، عند تجمده في داخلها، وضغطه عليها، من الداخل، بقوة. وذلك ناتج من أن جزيئات الماء، عندما تتكون البلورات الثلجية، تصطف بطريقة سداسية، تشغل حيزاً أكبر؛ فتقل كثافة الثلج عن كثافة الماء؛ إذ إن عدد الجزيئات نفسه، في حالة التجمد، يشغل حيزاً أكبر. ولهذه الحقيقة أثر كبير في تشكل سطح الأرض، من طريق البلورات الثلجية، المتكونة في الشقوق الصخرية، التي تفتت صخور القشرة الأرضية. ولولا أن الثلج أقل كثافة من الماء، فيطفو فوقه، في بحار ومحيطات العروض العليا، لما استطاعت الأحياء البحرية، أن تعيش في المياه، تحت الغطاء الثلجي العازل. والمعلوم أن بعض المخلوقات البحرية، من نبات وحيوان، تتحمل العيش في حرارة منخفضة، شريطة أن لا تتجمد.

يتمدد الماء، عندما يتجمد؛ لأن جزيئاته، تتراص في بناء بلوري، متأثرة بقطبيتها (الشكل الرقم 547ج). وتترك في هذا البناء البلوري فراغات فيما بينها، مملوءة بالهواء، تجعل الثلج أقل كثافة من الماء الذي تتراص جزيئاته بإحكام؛ ما يقلص حجم الفراغ بينها. وفي الماء النقي، تبدأ البلورات الثلجية بالتكون، عند درجة حرارة 4 مئوية؛ ويصل إلى حالة التجمد، عندما تنخفض درجة حرارته إلى الصفر المئوي. ولأن البلورات الثلجية، تطرد الأملاح، فإن وجود الأخيرة في مياه البحار، يحول دون وجود درجة محددة للتجمد.

تغير حالة الماء من صلب إلى سائل، ومن سائل إلى غاز

لا شك أن تزويد المادة بالحرارة، يرفع درجة حرارتها. ولكن، هناك حالات، تستهلك فيها المادة الحرارة، من دون أن يظهر أثر ذلك في درجة حرارتها. فتعريض الماء لمزيد من الحرارة، عند درجة الغليان، لا يزيد حرارته، بل يبخره. فالطاقة المكتسبة، بعد الغليان، لا تظهر على شكل ارتفاع في درجة الحرارة، بل تستهلك في فك الروابط البينية بين جزيئات الماء، لتتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (بخار ماء). ويطلق على الحرارة المستهلكة في هذه العملية، الحرارة الكامنة للتبخر Latent heat of Vaborization [27]. وكذلك لو غُمس ثرمومتر في قالب من الثلج، درجة

---

[26] التوصيل الحراري Thermal conductivity: مقياس لسرعة انتقال الطاقة الحرارية بين الجزيئات.

[27] الحرارة الكامنة: هي إجمالي الطاقة المستهلكة في، أو الناتجة عن تغير الحالة (الإذابة، التبخر) دون تغير في درجة الحرارة.

حرارته –20ْم تحت الصفر؛ وعرض الثلج للحرارة، فإن درجة حرارته سترتفع، بالتدريج، حتى تبلغ الصفر المئوي، حيث ستتوقف، على الرغم من استمرار التزويد بالقدر نفسه من الحرارة! في هذه المرحلة، الطاقة الواصلة، لا يظهر لها أثر في درجة الحرارة؛ لأنها تستهلك في فك الروابط البينية بين الجزيئات، عند تحول البلورات الثلجية إلى ماء سائل[28]. ويطلق على الحرارة المستهلكة في هذه العملية، الحرارة الكامنة للإذابة Latent heat of melting أو Heat of Fusion (الشكل الرقم 548).

يتمثل في الشكل الرقم (548) جرام واحد من الثلج، درجة حرارته -40ْ مئوية؛ سلط عليه مقدار معين من الحرارة. يلاحظ أن إضافة عشرين سعراً حرارياً، رفعت درجة حرارته من –40ْم، إلى درجة الصفر المئوي؛ وذلك ناتج من أن السعة الحرارية[29] للثلج، تساوي نصف سعر حراري للجرام. ولكن، بعد الوصول إلى درجة الصفر المئوي، توقّف ارتفاع درجة الحرارة، على الرغم من استمرار التزويد بالطاقة، حتى الوصول إلى الرقم 100، على المحور السيني (الأفقي). وذلك يعني استهلاك 80 سعراً حرارياً، من دون تغير درجة الحرارة[30]. ولكن جرام الثلج، في نهاية هذه المرحلة، تحول إلى جرام من الماء؛ والحرارة المضافة، استهلكت في فك الروابط البينية، ويطلق عليها الحرارة الكامنة للإذابة.

لقد استهلك جرام الثلج، لتحويله من حالة التجمد بدرجة –40ْ مئوية، إلى الحالة السائلة عند درجة الصفر المئوي، 100 سعر حراري. بعد ذلك، أي حرارة مضافة، سيظهر أثرها في درجة حرارة جرام الماء، بواقع زيادة درجة مئوية واحدة، لكل سعر حراري مضاف. وعندما تصل درجة حرارة جرام الماء إلى 100ْم، بعد إضافة 100 سعر حراري أخرى، تتوقف الزيادة في درجة الحرارة. ويستهلك جرام الماء، بعد ذلك، 450 سعراً حرارياً، من دون أن يظهر لها أثر في درجة حرارته. والشيء الوحيد الملاحظ، هو تناقص الماء في الإناء، نتيجة لتبخره. وبعد استهلاك 450 سعراً حرارياً، يكون جرام الماء، قد تحول كله إلى بخار ماء. ذلك المقدار من الحرارة، الذي استهلك، ولم يظهر له أثر في درجة حرارة الماء، استهلك في فك الروابط البينية بين جزيئات الماء، ويطلق عليه الحرارة الكامنة للتبخر.

والحرارة الكامنة للتبخر، هي أعلى من الحرارة الكامنة للإذابة، التي لم تتعد 80 سعراً، للجرام الواحد من الماء؛ وذلك لأن التحول من حالة السيولة إلى حالة الغازية، يحتاج إلى فك جميع الروابط البينية بين الجزيئات، فتنطلق جزيئات بخار الماء في الهواء، بحرية تامة. وعند التحول من حالة الصلابة (ثلج) إلى حالة السيولة (ماء)، لا يلزم فك جميع الروابط البينية، بل بعضها؛ بما يسمح

---

[28] Payne Charles, “physical Science”, P. 137.

[29] السعة الحرارية للمادة هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من المادة درجة مئوية واحدة.

[30] Lutgens Fredrick K. AND Tarbuck, Edward, “Atmosphere”,P. 75.

بتحرك جزيئات الماء بعضها مع بعض. ويجب أن يلاحظ، أنه عند التعامل مع الظروف البيئية العادية، ومعدلات درجات الحرارة السائدة في البيئات الطبيعية، يتبخر الماء؛ على الرغم من أن درجة حرارته، لم تصل إلى درجة الغليان 100ْم. ويحتاج جرام الماء، في هذه الحالات، إلى 600 سعر حراري[31]، للتحول إلى بخار ماء. هذه الحرارة الكامنة، تنطلق، مرة أخرى، في الغلاف الغازي، عند تكاثفه[32].

التغير في كثافة الماء Water Density، بتغير درجة حرارته

يتقلص الماء السائل، وتتقارب جزيئاته، كلما برد؛ وهذا يعني، بالطبع، ازدياد كثافته[33]. لذا، يمكن القول إن كثافة الماء تزداد كلما برد. ولكن ازدياد الكثافة، مع انخفاض درجات الحرارة، بالنسبة إلى الماء، لا يستمر. فالماء، استثناء من السوائل الأخرى، تزداد كثافته، مع انخفاض درجة الحرارة، حتى تبلغ أقصى مدى لها، عند درجة حرارة 3.89ْ مئوية؛ إذ تبلغ 1000 كيلوجرام، للمتر المكعب. يتمدد الماء قليلاً، بين 3.98ْ مئوية والصفر المئوي؛ وذلك نتيجة لبداية تكون البلورات الثلجية في الماء. ولكن، عندما يتجمد الماء، ويصبح ثلجاً، فإن كثافته تنخفض إلى نحو 920 كيلوجراماً، للمتر المكعب[34] (الشكل الرقم 547ج) (الجدول الرقم 63أ).

ونتيجة لاعتماد كثافة الماء على درجة حرارته، فإن الدافئ منه، الأقل كثافة، سيطفو فوق الماء البارد، الأكثر كثافة، عند درجات الحرارة، التي تفوق 3.98ْ مئوية؛ لكن، في درجات الحرارة الأدنى من 3.98ْ مئوية، فإن الماء الأبرد، سيطفو فوق الماء الأدفأ. ونتيجة لذلك، تتشكل الغطاءات الثلجية، وتبقى طافية فوق سطح الماء. ولكنها حالما تذوب، فإن مياهها الباردة، الأعلى كثافة، تغوص إلى الأسفل. وينتج ذلك دورة رأسية للمياه، في بحار ومحيطات العروض العليا، في الفصول، التي تذوب فيها الغطاءات الثلجية البحرية.

التغير في لزوجة الماء، بتغير درجة حرارته

---

31 Wallace, John; Hobbs, peter; "Atmospheric Science and Introductory Survey", Academic Press, New York, 1983, P.66.

32 Payne Charles, "physical Science", P. 75.

33 الكثافة Density: وتساوي كتلة المادة على حجمها.

34 Hornberger, G.; Raffensperger, J.; Wiberg, P.; Eshleman, K., "Elements of Physical Hydrology", John Hopkins University Press, London P. 243.

تتغير لزوجة الماء[35] Water Viscosity، بتغير درجة حرارته (الشكل الرقم 548أ). وتغير لزوجته، يفوق كثيراً تغير كثافته، مع التغير في درجات الحرارة. فعند ارتفاع درجات الحرارة من 10ْ إلى 30ْ مئوية، مثلاً، ستنخفض كثافة الماء من 999.73 كيلوجراماً، في المتر المكعب، إلى 997.07 كيلوجراماً؛ وذلك الانخفاض، يشكل ما نسبته 0.27%. ولكن، في المدى الحراري نفسه، المذكور أعلاه، فإن لزوجة الماء، ستنخفض من 1.307× 10-3 باسكال[36]/ثانية، عند 10ْ مئوية، إلى 0.7975×10-4 باسكال/ثانية، عند 30ْ مئوية (الجدول الرقم 64)؛ وذلك انخفاض بنسبة 39%. لذا، يهتم علماء المياه بلزوجتها، عند إجراء حساباتهم لأثر التغير في درجة حرارتها.

الشد السطحي للماء

تفسر الطبيعة القطبية لجزيئات الماء، والتجاذب المتبادل بينها، تجمعه على الأسطح المصقولة، على شكل قطرات، بدلاً من تغطية السطح بغشاء رطوبي متصل. ويحدث ذلك بشكل أكثر وضوحاً، على الأسطح المغطاة بمادة شمعية؛ وذلك بسبب ما يسمى الشد السطحي للماء Water Surface Tension.

يمتاز الماء بأنه من أعلى السوائل، الشائعة في الطبيعة، في مقدار الشد السطحي. ولا يفوقه في ذلك إلا الزئبق. ويمكن ملاحظة الشد السطحي للماء، في الحياة اليومية، بملء كأس زجاجية بالماء، تماماً، إلى ما فوق حافتها؛ فإن سطح الماء، سيعلو، بشكل محدب، فوق حافة الكأس، قليلاً. وهذه الظاهرة، هي نتاج التجاذب بين جزيئات الماء، نحو السطح. ولذلك، فإن مواد أعلى كثافة من الماء، يمكن أن تطفو فوقه. فموس الحلاقة، مثلاً، لو وضع، بحرص، على سطح الماء، فسيطفو؛ على الرغم من أن كثافته، قد تصل إلى خمسة أضعاف كثافة الماء. وإبرة الخياطة المعدنية، إذا مسحت بمادة شمعية، يمكن أن تطفو فوق الماء[37]. وكثير من طيور الماء، تطفو فوق سطح الماء؛ بسبب الشد السطحي للماء، والمادة الشمعية أو الزيتية على ريشها؛ والغريب، أنه لو أزيلت هذه المادة من ريش الطيور المائية، لغاصت في الماء. وكثير من الحشرات، تستخدم سطح الماء، كما لو أنه سطح صلب، وتتحرك فوقه على هذا الأساس.

الشد السطحي للماء، ليس إلا مظهر من مظاهر وجود الروابط الهيدورجينية، فجزيئات الماء، التي على السطح، مشدودة بالروابط الهيدروجينية، إلى الجزيئات المجاورة لها؛ ومشدودة، كذلك،

---

[35] يقصد باللزوجة Viscosity: التماسك الداخلي أو خاصية مقاومة التدفق.

[36] باسكال Pascal (Pa): وحدة قياس، وتساوي نيوتن لكل متر مربع.

[37] نستخدم هذه الطريقة لمعرفة الاتجاهات، إذا لم يتوفر بوصلة. وذلك عن طريق وضع إبرة معدنية بعناية على سطح الماء في إناء غير معدني، فتشير إلى الشمال المغناطيسي.

إلى الجزيئات، التي تحتها فقط. بينما الجزيئات، التي في وسط الماء، فهي مشدودة بالروابط الهيدروجينية، في جميع الاتجاهات. لذا، فالجزيئات، التي على السطح، تتركز الطاقة، المتاحة للربط الهيدروجيني فيها، في الجانبين، وإلى الأسفل فقط. وهذا ما يعطيها قوة شد سطحي، تجعلها تتماسك أعلى من حافة الكأس الزجاجية؛ ويجعلها ترفع على سطحها أجساماً أعلى في كثافتها من الماء.

تنجذب جزيئات الماء إلى أسطح بعض المواد؛ وذلك ما يشار إليه بالرطوبة Wetting. فالماء ينجذب إلى الزجاج، والمواد العضوية، وبعض المواد غير العضوية، كالصخور والتربة. فعندما يصب الماء في أنبوب زجاجي، إلى منتصفه، مثلاً، فإن التجاذب بين جزيئاته والزجاج؛ سيجعل سطح الماء يأخذ شكلاً غير الشكل المحدب، المذكور في المثال السابق؛ إذ سيرتفع سطحه، قرب حافة الأنبوب الزجاجي، وينخفض في الوسط. وفي الزجاج بشكل خاص، فإن الجانب الموجب الشحنة من جزيئات الماء، في ذرتي الهيدروجين، سينجذب نحو ذرات الأكسجين الداخلية، في تركيب الزجاج. ولشدة التجاذب بينهما، فإن جزيئات الماء، ستتدافع إلى الأعلى، عند حافة الإناء، وستظل مرتفعة عن مستوى سطح الماء، في الوسط؛ ويقتصر ارتباطها بجزيئات الماء، خلفها، على الروابط الهيدروجينية، التي تشدها إلى الخلف. إذا كان الأنبوب ضيقاً جداً، فإن الماء سيرتفع فيه كثيراً؛ وهذا ما يعرف بالخاصية الشعرية Capillary. ولهذه الخاصية أهمية كبيرة، في علوم التربة والنبات.

رابعاً: خواص مياه البحار والمحيطات

إن خواص مياه البحار والمحيطات، هي نفسها خواص المياه العذبة، مضافاً إليها ما نتج من ملوحتها بشكل خاص.

الأملاح في مياه البحار

مياه البحار عن محلول من الأملاح ثابتة التركيب، ذائبة في كميات مختلفة من الماء. والماء، وهو الذي يشكل النسبة الأكبر، يتحكم في معظم الخصائص الطبيعية لمياه البحار؛ بينما تؤثر كمية الأملاح في كثافته.

من السهل جداً، أن يتبخر ماء البحر، تاركاً الأملاح خلفه. وعلى الرغم من كثرة عدد العناصر (أكثر من 70) الذائبة فيه، فإن ستة فقط من هذه العناصر، تشكل أكثر من 99% من أملاح البحر (الشكل الرقم 548ب): كلورين Clorine (Cl^-)، صوديوم Sodium (Na^+)، وماغنسيوم Magnesium (Mg^{++})، وكالسيوم Calsium (Ca^{++})، وبوتاسيوم Potassium (K^+)؛ وكبريت Sulfur (S)، الذي يوجد على شكل سلفات $SO_4^=$. وكل هذه الأملاح، تحدث على شكل أيونات[38]. ويحوي ماء البحر

---

[38] ذرات مشحونة كهربائياً نتيجة لتبادل الإلكترونات.

أيونات أخرى، كالذهب والفضة والنحاس، والفسفور واليود؛ ولكنها لا تشكل إلا نسبة ضئيلة من مجموع الأيونات الذائبة فيه، لا تتجاوز 0.1%[39].

يستخدم علماء البحار كلمة الملوحة Salinity، وهي كمية الأملاح الذائبة، بالجرام، في كل كيلوجرام من ماء البحر، في التعبير عن المحتوى الملحي لمياه البحر. وتقاس الملوحة، عادة، بدقة، بقياس درجة التوصيل الكهربائي لعينة من تلك المياه، فكلما ازدادت الملوحة، ازدادت درجة التوصيل الكهربائي.

مصدر ملوحة مياه البحار

بالنظر إلى النظريات السائدة، في شأن مصدر مياه البحار والمحيطات؛ وأنها مياه أولية[40] Juvenile Waters، اختزلت من صخور باطن الأرض، مع حمم اللابات المتدفقة خلال القشرة الأرضية؛ فقد أشارت حسابات بعض الباحثين، إلى أن المياه، التي تكاثفت من الغلاف الغازي المحيط بالأرض، عند تكونها، لم تتجاوز 10٪[41]. ويعزي كثير من آراء الباحثين، في الواقع، نشأة الغلاف الغازي المحيط بالأرض، عند تكونها، إلى تدفق الحمم الصخرية على سطحها، في مراحل تكونها الأولى، ثم الأنشطة البركانية، التي ظلت مستمرة على قشرة الأرض، خلال عمرها الجيولوجي الطويل. وقد أوضحت دراسة للعالم فنر Fenner، عام 1926، أجريت على المصهورات البركانية، احتواءها على نسبة كبيرة من الكلوريدات Chlorides، والفلورايد Florides الممتزجة بالكبريتات وبخار الماء. وقد تعزى النسبة العالية من أيونات الفلورين (الجدول الرقم 65)، في ماء البحر، إلى تدفق المصهورات البركانية، في قيعان المحيطات، خاصة في أحياد أواسطها[42] Mid-Oceanic Ridges.

والدورة الهيدرولوجية العامة (الشكل الرقم 548ج)، ودورة الماء المستمرة فيها، عبر العصور الجيولوجية، عند تساقطه على اليابس، وتدفقه على سطحه، أو خلال طبقاته، نحو البحر، مرة أخرى؛ تمثل مصدراً آخر من مصادر ملوحة مياه البحار والمحيطات. فالقشرة الأرضية، تتكون من صخور مختلفة، مركبة من معادن وأملاح وأكاسيد، تختلف في درجة مقاومتها لعوامل التعرية

---

[39] مهدي محمد علي الصحاف، "جغرافية البحار والمحيطات"، 1982، 63.

[40] المياه الأولية Juvenile Waters مياه تظهر لأول على القشرة الأرضية، سواء على اليابس أو في قاع المحيط، ومصدرها باطن الأرض، والصخور البركانية، التي تندفق من باطن الأرض نحو السطح خلال الشقوق في قشرة الأرض.

[41] حسن سيد أحمد أبوالعينين، "دراسات في جغرافية البحار والمحيطات"، مؤسسة الثقافة الجامعية، الإسكندرية، 1976، ص122.

[42] أحيد أواسط المحيطات Mid-Oceanic Ridges سلاسل من المرتفعات الضخمة تمتد في أواسط قيعان المحيطات تتباعد قممها الصفائح التكتونية مفسحة ا ال لصخور باطنية جديدة للظهور على قشرة الأرض.

والذوبان. ومن هذه المركبات ما هو سريع التحلل والذوبان في الماء. فالمياه الجارية فوق صخور سطح القشرة الأرضية، أو خلالها، تتيح ذوبان بعض مكونات هذه الصخور، وتنقلها معها إلى البحر. وهكذا، تتجمع الأملاح في مياهه تجمعاً تدريجياً. وتقذف الأنهار، في مياه البحار والمحيطات، قرابة 2700 مليون طن، من الأملاح المشتقة من صخور اليابسة. فالماء، في الدورة الهيدرولوجية، يتبخر من سطح البحر، تاركاً خلفه الأملاح، ليتساقط على سطح الأرض، فيعود إلى البحر، من جديد، محملاً بكميات منها وهكذا. وتقدر كمية الأملاح، الذائبة في مياه البحار والمحيطات، بما يصل إلى 4.84×10^{16} طن[43].

ولكن، هناك اختلاف واضح بين نوعية الأملاح، السائدة في مياه الأنهار، وتلك السائدة في مياه البحار والمحيطات (الجدول الرقم 66)، أثار كثيراً من التساؤلات عن وجود مصادر أخرى لملوحة مياه البحر. فبينما تسود كربونات الكالسيوم مياه الأنهار، تسود كلوريدات الصوديوم مياه البحار. وبينما تفوق نسب السلفات، في مياه الأنهار، كلوريدات الصوديوم؛ فإن الأمر ينعكس في مياه البحار والمحيطات. وتتفاوت مياه الأنهار فيما بينها تفاوتاً كبيراً، في نوعية الأملاح، التي تحملها؛ وذلك تبعاً لنوع الصخور، التي مرت عليها؛ وطريقة وصولها إلى البحر، أبالتدفق السطحي، أم بالسريان الجوفي؛ والمسافة التي قطعتها المياه حتى وصلت إلى البحر؛ والمدة التي استغرقتها على سطح اليابس ... لذا، فإن العينات، التي بنيت عليها المقارنة بين مياه البحار ومياه الأنهار، ربما لا تكون ممثلة للخصائص العامة لمياه الأنهار.

وإضافة إلى ذلك فإن نقص كربونات الكالسيوم، في مياه البحار والمحيطات، قد يكون راجعاً إلى المخلوقات البحرية الكثيرة، التي تستهلك كميات كبيرة منها، لبناء هياكلها وقواقعها ومستعمراتها؛ ولا سيما المستعمرات المرجانية. فضلاً عن أن انخفاض نسبة ثاني أكسيد الكربون، يؤدي ارتفاع نسبة بعض الأملاح، وخاصة كلوريد الصوديوم.

وعلى الرغم من استمرار الدورة الهيدروجينية، واستمرار تبخر الماء، نقياً، من البحار، تاركاً خلفه الأملاح، وعودته، بعد تساقطه على اليابس، محملاً بالأملاح؛ فإن نسبة الملوحة، في مياه البحر، لا تستمر في الازدياد .وهذا يفسره، كذلك، ما ذكر آنفاً، من أن بعض الأملاح البحرية، وخصوصاً أملاح الكربونات والسيليكا، يستهلك قسماً كبيراً منها، بعض المخلوقات الحية البحرية.

خامساً: توزع الملوحة في مياه البحار والمحيطات

---

[43] مهدي محمد علي الصحاف، "جغرافية البحار والمحيطات"، ص65.

يمكن أن ينظر إلى توزع الملوحة في مياه البحار والمحيطات، من منطلقين: الأول، من منطلق التوزع الأفقي؛ والثاني، التوزع الرأسي، مع العمق.

أ. التوزيع الأفقي لملوحة مياه البحار والمحيطات

يتأثر تركز الأملاح في الطبقة السطحية من مياه البحر، بعدة عوامل، وأهمها:

(1) معدلات التبخر، المرتبطة بمعدلات درجات الحرارة، والإشعاع الشمسي، ورطوبة الهواء في الطبقة السفلية من الغلاف الغازي. ولا شك أن معدلات تبخر مياه البحر، تختلف باختلاف الموقع من دوائر العرض، اختلاف الفصول.

(2) معدلات التساقط، فكمية المياه العذبة المتساقطة، على شكل مطر أو ثلج، على مياه البحر، ستؤثر في ملوحة الطبقة السطحية منها. ومعدلات التساقط، تختلف، بلا شك، تبعاً لدوائر العرض، والقرب أو البعد من السواحل القارية.

(3) التدفق النهري، فكميات المياه، التي تلقي بها الأنهار، من اليابس، على الهامش القاري، في مياه البحر، تؤثر في ملوحتها تأثيراً واضحاً.

(4) التيارات البحرية، في المياه السطحية، وما ينجم عنها، من نقل وخلط للمياه البحرية السطحية، من عروض مختلفة.

إن نسبة 35 في الألف، من ملوحة مياه البحار، ليست إلا متوسط عام، يراوح بين الزيادة والنقصان، تبعاً للمتغيرات المذكورة آنفاً. ففي القرب من خط الاستواء، حيث ترتفع معدلات التساقط، طول اليوم، ينخفض متوسط ملوحة الطبقة السطحية لمياه البحر إلى 34 في الألف؛ وذلك ناتج، إلى جانب ارتفاع معدلات التساقط، من ركود الهواء، وارتفاع الرطوبة النسبية، فانخفاض معدلات التبخر؛ وذلك على الرغم من الارتفاع الملحوظ في درجات الحرارة.

وفي العروض المدارية، شمال خط الاستواء وجنوبه، حيث تسود الرياح البخارية، وتصحو السماء، وترتفع نسبة الإشعاع الشمسي، وترتفع الحرارة، وتنخفض كميات التساقط انخفاضاً ملحوظاً، وتنخفض رطوبة الهواء النسبية ـ ترتفع نسبة التبخر ارتفاعاً كبيراً، يؤدي ازدياد تركز الأملاح في الطبقة السطحية من مياه المحيطات. ويصل معدل ملوحة المياه السطحية، في بحار هذه العروض ومحيطاتها، إلى 37 في الألف؛ إذ تبلغ في مياه المحيط الأطلسي، 37.5 في الألف؛ وفي المحيط الهادي 36.5 في الألف، وفي المحيط الهندي 36 في الألف.

تنخفض الملوحة، بالاتجاه نحو القطبين، في نصفي الكرة الأرضية، الشمالي والجنوبي؛ نتيجة لاعتدال درجات الحرارة، وانخفاض معدلات التبخر، وازدياد كمية التساقط عنها في العروض المدارية. ولكن هذا النمط العام لتركز الملوحة في مياه البحار والمحيطات، الذي يوافق دوائر العرض، يتعرض للكثير من التغيرات المحلية، التي تؤثر فيه. ويتضح أثر هذه العوامل المؤثرة، عند

توقيع خطوط الملوحة المتساوية Isolhalines؛ إذ يظهر جلياً أثر ذوبان الجليد، في العروض العليا، في انخفاض معدلات الملوحة في بحارها، فتصل إلى 33 في الألف، في البحر المتجمد الشمالي.

ويظهر أثر تدفق المياه النهرية، في انخفاض الملوحة في مياه البحار والمحيطات، قرب مصباتها. فالملوحة، في شمال خليج البنغال Bay of Bengal، مثلاً، تنخفض إلى 32 في الألف؛ نتيجة لتدفق مياه نهري الكنج وبراهمايترا[44]. وتنخفض الملوحة، في المحيط الأطلسي، أمام مصبي كل من نهر الكنغو ونهر الأمازون؛ إذ تتدنى مستويات الملوحة إلى 15 في الألف، أمام مصب الأمازون[45]. ويكون تأثير مياه الأنهار في الملوحة، أكثر وضوحاً، في البحار والخلجان شبه المغلقة[46]. ففي بحر البلطيق Baltic Sea، مثلاً، تنخفض الملوحة إلى درجات متدنية جداً، فتناهز، في المتوسط، ثلث ملوحة الأطلسي؛ إذ تقدر الملوحة فيه بنحو 11 في الألف، وخاصة في غربيه، أمام سواحل السويد؛ وتتناقص الملوحة فيه بالاتجاه نحو الشمال والغرب. وتبلغ ملوحة بحر البلطيق أدنى مستوى لها، في خليج بوثنيا Gulf of Bothnia، حيث لا تتجاوز 3 في الألف؛ وذلك ناتج من تضافر عدد من العوامل، أهمها: أن كثيراً من الأنهار تصب فيه؛ وأن اتصاله ببحر الشمال North Sea محدود؛ وأنه يمتد في عروض، معتدلة وباردة، تنخفض فيها معدلات التبخر. لذلك، يندفع تيار من المياه السطحية، فتنخفض الملوحة على سطح مياه بحر الشمال، في منطقة اتصاله ببحر البلطيق. ويندفق تيار من المياه الأعلى ملوحة، في الأعماق، من بحر الشمال نحو بحر البلطيق. ويشابه بحر البلطيق بحر أزوف Sea of Azov، الذي يتصل بالبحر الأسود Balck Sea اتصالاً محدوداً، ويصب فيه عدد من الأنهار؛ فلا تتجاوز الملوحة فيه 14 في الألف، وقد تنخفض إلى 11 في الألف.

وترتفع معدلات الملوحة كثيراً، في البحار المدارية، وخاصة تلك التي تتصل بالمحيطات اتصالاً محدوداً، ويكون نصيبها من مياه الأنهار قليلاً؛ كالبحر الأبيض المتوسط، والبحر الأحمر، والخليج العربي. وهذه المسطحات المائية كلها، تمتد في عروض مدارية حارة، ترتفع فيها معدلات درجات الحرارة؛ فترتفع معدلات التبخر ارتفاعاً كبيراً. كما أن نصيبها من التدفق النهري محدود جداً. وتنخفض كميات الأمطار، التي تتساقط عليها، وتتفاوت تفاوتاً كبيراً؛ فهي في الخليج العربي أقل منها في البحر الأحمر؛ وفي البحر الأبيض المتوسط أكثر في على البحر الأحمر.

(1) البحر الأبيض المتوسط Mediterranean Sea

يمتد البحر المتوسط، بشكل طولي، من الشرق إلى الغرب، في عروض مدارية حارة، مسافة تربو على 3700 كيلومتر. وتبلغ مساحة سطحه 2.509.000 كيلومتر مربع؛ فهو

---

[44] مهدي محمد علي الصحاف، "جغرافية البحار والمحيطات"، ص68.

[45] حسن سيد أحمد أبوالعينين، "دراسات في جغرافية البحار والمحيطات"، مؤسسة الثقافة الجامعية، الإسكندرية، 1976، ص169.

[46] التي لا تتصل بالمحيطات إلا اتصالاً محدوداً.

أكبر البحار الداخلية[47]، في العالم. تحف به، من الجنوب، السواحل الشمالية للقارة الإفريقية، بظهيرها الصحراوي الواسع. ترتفع في هذه العروض معدلات درجات الحرارة. وتؤدي الرياح الحارة، والجافة، التي تهب من الصحراء الكبرى، انخفاض الرطوبة النسبية، وارتفاع معدلات التبخر؛ ما يزيد معدلات الملوحة، في مياهه السطحية، زيادة كبيرة. وكميات الأمطار القليلة، نسبياً، التي تتساقط عليه، في فصل الشتاء، لا تعوضه عن المياه المتبخرة من سطحه. كما أن كمية التدفق النهري الواصل إليه منخفضة جداً، نسبة إلى مساحته. ولأن عمقه محدود، إذ يبلغ متوسطه 1500 متر، ولا يتجاوز أقصاه 5100 متر؛ واتصاله بالمحيط محدود جداً، في مضيق جبل طارق، الذي يصل عرضه إلى 14 كيلومتراً وينخفض فيه العمق كثيراً ـ فإن تأثير معدلات التبخر العالية في ملوحة مياهه، واضح جداً،و خاصة في جهاته الشرقية، حيث تبلغ 39 في الألف؛ وتراوح عند مضيق جبل طارق، بين 37 و38 في الألف. ويعزى إلى ملوحة مياه البحر الأبيض المتوسط العالية، ارتفاع معدلات الملوحة في شمالي المحيط الأطلسي، حيث يمتد لسان من المياه المالحة، تحت سطح الماء، خارجاً من مضيق جبل طارق. ويقابل هذا التيار تيار من المياه السطحية، الأقل ملوحة، يتحرك من المحيط الأطلسي، داخلاً إلى البحر الأبيض المتوسط.

(2) البحر الأحمر Red Sea

يمتد البحر الأحمر، على شكل شريط مستطيل، ضيق، مسافة تتخطى 2200 كيلومتر، بين دائرتي العرض 29.5ْ و12ْ شمالاً. ولا تتجاوز مساحة سطحه 440 ألف كيلومتر مربع. وهو محاط بأراضٍ صحراوية جافة. ترتفع فيه الحرارة كثيراً، وتتعامد الشمس على مياهه، في فصل الصيف الشمالي؛ ما يرفع معدلات تبخر مياهه السطحية. ولا يوجد أنهار دائمة الجريان، تصب فيه؛ ومعدلات التساقط على مياهه السطحية ضئيلة؛ لذا، ترتفع ملوحتها ارتفاعاً واضحاً. واتصاله الضيق بالمحيط الهندي، من خلال باب المندب[48]، يزيد نسبة تركز الأملاح في مياهه السطحية، بالاتجاه نحو الشمال؛ فتبلغ الملوحة، في أجزائه الجنوبية 37 في الألف، وقد تصل، في تلك الشمالية، إلى 41 في الألف.

---

[47] البحار الداخلية Inland Seas: هي البحار التي تمتد داخل اليابس.

[48] باب المندب Bab el-Mandeb: مضيق يصل البحر الأحمر بخليج عدن والمحيط الهندي، عرضه في أضيق نقطة لا يتجاوز 12.5 كيلومتر.

(3) الخليج العربي

مسطح مائي ضيق، وصغير، لا تتجاوز مساحته 230 ألف كيلومتر مربع. يمتد من الشمال الغربي نحو الجنوبي الشرقي، مسافة 970 كيلومتراً. ويراوح عمقه بين 55 و340 متراً. ويتصل بالمحيط الهندي، عبر خليج عمان، فبحر العرب، فمضيق هرمز، الذي يبلغ عرضه 54 كيلومتراً. يصب في طرفه الشمالي شط العربي، الذي تجتمع فيه مياه نهري دجلة والفرات. يمتد الخليج العربي في عروض شديدة الحرارة والجفاف؛ لذا، ترتفع معدلات تبخر مياهه. ومعدلات تساقط الأمطار عليه منخفضة جداً؛ لذلك، ترتفع معدلات ملوحة مياهه السطحية؛ فتصل، في أجزائه الشمالية والوسطى، إلى 39 في الألف، وفي تلك الجنوبية، إلى 37 في الألف[49].

ب. التوزع الرأسي لملوحة مياه البحار والمحيطات، مع العمق

إن ما يحكم التوزع الرأسي لمياه المحيطات، هو الكثافة؛ والمياه الأعلى كثافة، هي الأثقل؛ لذا، تجاور القاع. وتنخفض كثافتها بالارتفاع من القاع إلى أعلى؛ لذا، يؤثر توزع الكثافة في مياه البحر، في دورتها المحيطية. ولأن مكونات الأملاح البحرية أعلى كثافة من الماء، فإن المياه المالحة، هي أعلى كثافة من المياه العذبة. وتزداد كثافة الماء بارتفاع الملوحة، أو الضغط، أو بانخفاض درجة حرارته. ويهتم دارسو البحار والمحيطات بالتغيرات الثلاثة المترابطة: الكثافة، والملوحة، ودرجة الحرارة.

لكن التغير الرأسي في ملوحة مياه المحيطات، يختلف في توزعه المكاني عن التغير في كثافة المياه المحيطية، مع العمق، حيث تزداد الكثافة بعامة، ولا تزداد الملوحة إلا في العروض العليا. ففي حين، يراوح متوسط ملوحة المياه السطحية، بين 33 و34 في الألف، ترتفع الملوحة، في القاع، إلى 35 في الألف؛ إذ في تلك العروض، يسهم ذوبان الثلوج، في الطبقة السطحية، في تخفيف حدة ملوحة مياه البحر. وفي تلك العروض، كذلك، تتكون الكتل المائية المحيطية، التي تغوص في الأعماق، حينما ترتفع كثافتها (الشكل الرقم 548د).

وفي العروض الاستوائية، تزداد الملوحة، مع العمق، ازدياداً معتدلاً، نسبياً؛ لاعتدال ملوحة الطبقة السطحية، الناجم، كما سبق ذكره، عن ازدياد الأمطار المتساقطة، وانخفاض معدلات التبخر. أما في العروض المدارية، فيكون المدى في نسب الملوحة كبيراً، في الطبقة السطحية، وطبقة المياه العميقة؛ لذا، تمتاز طبقة الهالوكلاين، في هذه العروض، بالانحدار السريع لنسب الملوحة، مع العمق (الشكل الرقم 548د). ويلاحظ أن ملوحة مياه الأعماق،

---

[49] مهدي محمد علي الصحاف، "جغرافية البحار والمحيطات"، ص71.

تداني في الغالب، 35 في الألف. ويتحكم التغير الأفقي في ملوحة المياه السطحية، في سرعة تغير الملوحة مع العمق واتجاهه.

في المياه السطحية، تتأثر كثافة مياه البحر بدرجة حرارتها تأثراً أكبر. ولكن، إذا بقيت الحرارة ثابتة، فإن تغيرات الملوحة، تؤدي تغيرات مؤثرة في الكثافة (في الشكل الرقم (548د) توضيح لتغير الملوحة، مع العمق، في عروض مختلفة). ويمكن تمييز ثلاث طبقات في مياه المحيطات، هي:

(1) الطبقة السطحية

تمتاز مياه الطبقة السطحية Surface Water Layer، بالتجانس والتمازج؛ نتيجة لأثر الأمواج المستمرة، الناجمة عن الرياح، في خلط المياه. وحيث تنشط الرياح السطحية، يزداد سمك الطبقة السطحية؛ لذلك، يقل سمكها، في منطقة الرهو الاستوائي Equatorial Doldrums، حيث تنخفض سرعة الرياح السطحية انخفاضاً كبيراً، ويراوح سمك الطبقة السطحية بين 100 متر و150 متراً؛ وفي هذه الطبقة قرابة 2% من المياه المحيطية. ونتيجة لتجانس المياه، في هذه الطبقة، وتخالطها جيداً، تتحرك جزيئات الماء، رأسياً، بحرية تامة. وتتعرض هذه الطبقة للتغيرات الفصلية، في درجات الحرارة، ومعدلات التبخر، وكميات الأمطار. كما أن هذه الطبقة، تتبادل الغازات، مع الغلاف الغازي.

(2) الطبقة المتوسطة

تسمى هذه الطبقة طبقة "هالوكلاين"[50] Halocline، وتعني انحدار الملوحة. يصل عمقها، في العادة، إلى 1500 متر، تحت سطح البحر. ويقتصر وجودها في مياه المحيطات، على العروض، الدنيا والمتوسطة؛ ولا توجد في العليا منها. وتشير التقديرات إلى أن في هذه الطبقة 18% من مياه المحيطات (الشكل الرقم 548و). نتيجة للتغير الرأسي السريع في الملوحة، مع العمق؛ والتغير الرأسي، في هذه الطبقة، في كثافة المياه فيها، فإنها تعد من أكثر طبقات مياه المحيطات استقراراً؛ إذ يندر وجود تيارات رأسية، صاعدة أو هابطة، خلالها. ولذلك، فهي طبقة من المياه، تفصل الطبقة السطحية عن أعماق المحيطات، وتحول دون تخالطهما[51]؛ مانعة بذلك وصول غازات الغلاف الغازي إلى الطبقات العميقة.

---

[50] هالوكلاين Halocline: هي الطبقة المتوسطة من مياه المحيطات، تنحدر فيها الملوحة بسرعة مع الارتفاع نحو سطح المحيط. في العروض العليا، ويحدث العكس في العروض الأخرى. والتسمية مشتقة من الكلمتين هالو Halo بمعنى ملوحة، وكلاين Cline بمعنى انحدار. ولا يوجد لهذه الطبقة في العروض العليا.

[51] Grant Gross, M, "Oceanography", Charles Merrill Pub. Co., Columbus, 1985, P. 51.

(3) طبقة المياه العميقة

تمتد طبقة المياه العميقة Deep Water Zone، تحت طبقة الهالوكلاين، من عمق 1500 متر حتى قاع المحيط[52]. وفي هذه الطبقة 80% من المياه المحيطية، التي تتحرك كتلها فوق قاع المحيط. تلك الكتل المائية، تتكون في العروض العليا، حيث تتصل طبقة المياه العميقة بالسطح، وتتبادل الغازات والطاقة، مع الغلاف الغازي. ولا تلبث تلك الكتل أن تغوص في الأعماق. وتظل هذه المياه محتفظة بخصائصها، من حيث الحرارة، والملوحة، والكثافة، والغازات المذابة؛ إذ لا مجال للاختلاط بالمياه السطحية، التي تفصلها عنها طبقة الهالوكلاين (الشكل الرقم 548و)[53].

سادساً: مدة بقاء العناصر في الدورة المحيطية

متوسط مدة بقاء Residence Time العناصر في المحيط، ليس واحداً. ويمكن حساب مدة بقاء كل منها، بالمعادلة التالية:

$$\text{مدة البقاء في المحيط} = \frac{\text{كمية العنصر في مياه المحيطات}}{\text{معدل تغذية مياه المحيط بالعنصر}}$$

وتعد المحيطات في حالة توازن، بالنسبة إلى عنصر معين، إذا كانت مخرجاتها ومدخلاتها منه متساوية. وتعتمد مدة بقاء أي عنصر في المحيط، على تفاعله في البيئة البحرية؛ فالألمنيوم، مثلاً، مدة بقائه في المحيطات 100 سنة فقط، والحديد 140 سنة فقط، بينما تبلغ مدة بقاء الصوديوم 260 مليون سنة (الجدول الرقم 67).

أما أهم عنصر في المحيط، وهو الماء، فإن مدة بقائه، تقدر بنحو أربعة آلاف سنة؛ إذ يتبخر منه، كل سنة ما يعادل طبقة، سمكها متر واحد. ولهذا، فإن المحيطات، بمتوسط عمق 4000 متر، سوف تجف، خلال 4 آلاف سنة؛ ، لو أن الماء، الذي يتبخر منها، لا يعود إليها، من طريق التساقط والتدفق النهري.

الغازات الذائبة في مياه البحار

---

[52] Tarbuck & Lutgens, “Earth Science”, Charles Merrill Pub. Co., Columbus, 1985, P. 243.

[53] Grant Gross, M, “Oceanography”,, P. 52.

يذوب ، في مياه البحر، التي تحركها الرياح، وتقلبها الأمواج، بعض غازات الغلاف الغازي، من الطبقة السفلى، الملامسة لتلك المياه. ويقال للماء، إنه مشبع بغاز معين، إذا كانت كمية الغاز الداخلة إليه مساوية لتلك الخارجة منه، عند درجة حرارة، ونسبة ملوحة ثابتتين. وطبقة المياه السطحية، في العادة، مشبعة بغازات الغلاف الغازي، مثل: الأكسجين والنيتروجين.

تحدد درجة حرارة الماء، ونسبة الملوحة فيه، كمية الغاز، التي يمكن أن تذوب فيه، قبل أن يصل إلى درجة التشبع. فكلما ازدادت درجة الحرارة، أو نسبة الملوحة؛ انخفضت قدرة الماء على إذابة الغازات. ومن هذين المتغيرين، درجة الحرارة والملوحة، فإن الأولى هي العامل الأهم.

إن أكثر الغازات الذائبة في مياه البحار والمحيطات، هي النيتروجين N، والأكسجين O، وثاني أكسيد الكربون CO_2؛ إضافة إلى غازات أخرى، توجد ذائبة في الماء، بنسب أقل، مثل الهيدروجين. وأهم مصادر الغازات، في مياه البحار والمحيطات، هو الغلاف الغازي. ومن مصادر الغازات الأخرى التفاعلات الكيماوية، التي تحدث في المواد العضوية، في البحر؛ ومياه الأنهار، التي تصب في البحار والمحيطات؛ وبراكين أعماق المحيطات وما يصحبها من غازات.

وبما أن المصدر الرئيسي للغازات، في مياه البحار والمحيطات، هو الغلاف الغازي، فإن المياه، حين تغوص تحت السطح، يتوقف تبادلها للغازات مع الغلاف الغازي. وفي هذه الحالة، هناك احتمالان، بالنسبة إلى محتواها من الغازات الذائبة:

الأول: كمية الغازات الذائبة في الكتلة المائية، التي يغمرها الماء، لن تتغير. والتغير الوحيد، الذي يمكن أن يحصل، في هذه الحالة، هو في انتشار الغازات الذائبة، وانتقال جزيئاتها، وتحركها في حدود الكتلة المائية نفسها (وهذه العملية بطيئة).

الثاني: أن تتغير كمية الغازات الذائبة في الكتلة المائية، بإحدى الطريقتين التاليتين:

أ. الاختلاط بكتل مائية أخرى، محتواها من الغازات الذائبة مختلف. وعملية التخالط، تحدث بين الكتل المتقاربة في خصائصها الفيزيائية، وأهمها الكثافة. ويكثر تخالط مياه الكتل المائية، عند هوامش الكتل.

ب. بعض الغازات، تدخل في الكثير من العمليات، الكيماوية والحيوية (البيولوجية) Chemical and Biological Processes؛ ما يغير نسب تركزها تحت سطح الماء، وفي الأعماق.

وربما كان من الأسهل، النظر إلى تغير نسب الغازات الذائبة في الكتل المائية، تحت السطح، من منطلق التفريق بين الغازات الذائبة التي تتغير نسبها، نتيجة لتفاعلات كيماوية أو حيوية وتلك، التي تتغير نسبها نتيجة لعمليات فيزيائية، مرتبطة بانتشار الغازات في الكتلة المائية الواحدة، أو تبادلها بين الكتل المائية، من طريق تخالط مياه تلك الكتل.

والغازات الذائبة بعميات فيزيائية، يطلق على نسبها في الكتل المائية "خواص محافظة" Conservative Properties. وتشمل غازات النيتروجين Nitrogen (N)؛ والغازات النادرة، التي توجد بنسب قليلة Rare Gases، وهي: الأرجون Argon (Ar)، والهيليوم Helium (He)، والنيون Neon (Ne)، والكريبتون Krypton (Kr). وتعد الملوحة، كذلك، إحدى الخواص المحافظة؛ إذ إن ماء البحر مشبع، تقريباً، بالنيتروجين والغازات النادرة، في كل طبقاته.

أما الغازات الذائبة في مياه البحار والمحيطات، فيطلق على نسبها في الكتل المائية "خواص غير محافظة" Nonconservative Properties. وهي تلك التي تدخل في العمليات، الحيوية والكيماوية، فتغير نسب تركزها في المياه؛ ومنها: الأكسجين Oxygen (O)، وثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide. وهذه الغازات تضاف إلى مياه البحر، في الطبقات المختلفة؛ حيث تستهلك بمعدلات متفاوته، ومتغيرة. ويستخدم دارسو البحار والمحيطات تركز غاز الأكسجين، الذائب في ماء البحر، في تتبع تحرك المياه السطحية.

يصل الأكسجين إلى مياه البحار والمحيطات، من الغلاف الغازي، أو من عمليات التمثيل الضوئي، التي تقوم بها النباتات البحرية. ويخرج الأكسجين من مياه البحار والمحيطات، عند السطح، للتوازن مع غازات الغلاف الغازي. كما تستهلك الأحياء البحرية جزءاً في عمليات التنفس؛ إضافة إلى عملية الأكسدة. ونتيجة لتعدد عمليات مدخلاته ومخرجاته، في مياه البحار والمحيطات، وتباين عوامل هذه المدخلات والمخرجات أفقياً، على السطح، أو عمودياً مع العمق، فإن تركز الأكسجين في مياه المحيطات، يتفاوت أفقياً وعمودياً. ومثل غيرها من الغازات الذائبة في مياه البحار والمحيطات، تتأثر نسبة الأكسجين الذائب في المياه، بدرجة حرارة الماء ونسبة ملحوته. لذلك، ينظر إلى الكتل المائية، في البحار والمحيطات، على أنها ممون للغلاف الغازي بالأكسجين، في فصلي الربيع والصيف، ومستهلك للأكسجين، من الغلاف الغازي، في فصلي الخريف والشتاء[54]. وبطبيعة الحال، فإن عملية تبادل الغازات، بين البحار والغلاف الغازي، تتم في الطبقة السطحية من المياه البحرية. ومن منطلق آخر، فإن عملية التمثيل الضوئي، تنشط، كذلك، في الطبقات السطحية من الماء، التي يصل إليها ضوء الشمس. يزداد تركز الأكسجين في الطبقة السطحية، من مياه البحار والمحيطات، بالاتجاه من خط الاستواء نحو العروض العليا. ففي حين يبلغ معدل نسبة الأكسجين الذائب في مياه البحر، عند خط الاستواء، 5 سنتيمترات مكعبة، في اللتر الواحد، تراوح هذه النسبة بين 7 و8 سنتيمترات مكعبة، في اللتر الواحد، عند الدائرتين القطبيتين. ويشغل الأكسجين بعامة، ما نسبته 36% من

---

[54] مهدي محمد علي الصحاف، "جغرافية البحار والمحيطات"، ص76.

إجمالي الغازات الذائبة في المياه البحرية، البالغة 153 مليلتر[55]، في اللتر الواحد، عند درجة حرارة 20° مئوية، وملوحة 36 في الألف (الشكل الرقم 549)[56].

يذور ثاني أكسيد الكربون في مياه البحار والمحيطات، بنسب عالية، نسبياً، مقارنة بغازات الغلاف الغازي الأخرى. وذلك ناتج من التفاعلات الكيماوية، التي تحدث في مياه البحار، ويدخل فيها. هذه التفاعلات يمكن تبسيطها كالتالي:

$CO_3^=$ بيكربونات + $2H^{++}$ أيونات ⟵ – – – ⟶ HCO_3 بيكربونات + H هيدروجين ⟵ – – – ⟶ H_2CO_3 أحماض كربونية ⟵ – – – ⟶ H_2O مـاء + CO_2 غاز ثاني أكسيد كربون

يشير السهم ذو الاتجاهين، إلى أن هذه التفاعلات، يمكن أن تحدث في الاتجاهين. وعلى الرغم من أن معظم ثاني أكسيد الكربون CO_2، في البحار والمحيطات، يصل إليها غازاً ذائباً في الماء، فإن لا يبقى منه إلا القليل؛ إذ يتفاعل معظمه مع الماء، وينتج من ذلك التفاعل أحماض كربونية H_2CO_3. وتتفاعل الأحماض الكربونية، عادة، في مياه البحار والمحيطات، مكونة أيونات بيكربونات HCO_3، ومقداراً أقل من الأيونات الكربونية $CO_3^=$.

لهذه التفاعلات أهمية كبيرة، في مياه البحار؛ فهي تحافظ على التوازن بين الأحماض Acids، الممثلة، في المعادلة أعلاه، في أيونات الهيدروجين؛ وبين القواعد Bases، ممثلة في الكربونات والبيكربونات.

العوالق في مياه البحار والمحيطات

إن مصدر معظم العوالق (30%ـ70%)، في مياه البحار والمحيطات، هو المخلوقات البحرية. ويقصد بالعوالق أي مادة، عضوية أو غير عضوية، تظل عالقة بمياه البحر. ولهذه المواد أهمية كبيرة، في كثير من العمليات البحرية، وخاصة التفاعلات، الكيماوية والبيولوجية؛ فهي طعام كثير من الحيوانات البحرية، التي تتغذى بتنقية المياه Filter-Feeding Organisms، وتخلصها، في الوقت نفسه، من كثير من العوالق. وتشكل العوالق بيئة، يتكاثر فيها الكثير من المخلوقات البحرية الدقيقة.

تشكل كربونات الكالسيوم والسيليكا، 25%ـ50% من العوالق البحرية[57]؛ ومصدرها الهياكل العظمية للمخلوقات البحرية. ومعظم العوالق حجمها كبير، نسبياً؛ لذلك، فهي تغوص إلى القاع،

---

[55] مليلتر Millilitre = $^1/_{1000}$ من اللتر = سنتيمتر مكعب CM^3.

[56] Grant Gross, M, "Oceanography", P. 38.

بسرعة، قد تصل إلى مئات الأمتار، في اليوم[58]. ومعظم هذه العوالق الكبيرة، مخلفات حيوانات بحرية، تتغذى بالنباتات الميكروسكوبية، التي تكثر حول سطح الماء. وهذه المخلفات، تشكل مصدراً غذائياً لمخلوقات الأعماق البحرية.

ويحتوي ماء البحار والمحيطات، على عوالق صغيرة جداً؛ ما يجعل سرعة ترسبها منخفضة جداً. وقد يستغرق وصولها إلى قاع المحيط سنوات؛ ما يتيح كثيراً من العمليات، الكيماوية والبيولوجية، التي تطرأ عليها، وتغيرها. وكثير من تلك العوالق، تحملها إلى البحار والمحيطات، مياه الأنهار، أو الرياح، على شكل غبار من الصحاري، أو من الغبار الكوني[59] Cosmic Materials.

بعض الحبيبات العالقة، من المواد الأكثر قابلية للذوبان، قد تذوب قبل أن تصل إلى قاع المحيط؛ فتدخل، بذلك، في التركيب الكيماوي لمياهه ، بل تغيره. وتـأثيرها الرئيسي في نقل المغذيات، مثل: مركبات النيتروجين، والفوسفات، والسيليكات، من قرب سطح الماء إلى الطبقات التحتية؛ ما يحد قليلاً من إنتاجية طبقة المياه السطحية، من المادة الحية.

كثافة مياه البحار

تتأثر كثافة الماء بدرجة حرارته، وبالضغط. ولكن، نظراً إلى وجود الأملاح في مياه البحار والمحيطات، فإن كثافتها، تتأثر بثلاثة عوامل، هي: درجة الحرارة، والضغط، والملوحة؛ فتزداد مع انخفاض درجات الحرارة[60]، وازدياد الضغط أو الملوحة.

وتقاس الكثافة بالجرام، في كل سنتيمتر مكعب (الكتلة على الحجم). وتراوح قياساتها، في المحيطات المفتوحة[61]، بين 1.024 و1.023 جرام، في السنتيمتر المكعب[62]. وكثافة مياه البحار والمحيطات، أكثر تأثراً بدرجات الحرارة، منها بالملوحة أو الضغط، وخاصة في العروض الدنيا، حيث ترتفع معدلات درجة الحرارة. ويقل أثر درجة الحرارة في كثافة المياه في العروض الباردة؛ ففي مياه، ملوحتها، مثلاً، 35 في الألف وعند درجة حرارة 25° مئوية، تبلغ كثافتها 1.0235 جرام،

---

[57] Grant Gross, M, "Oceanography", P. 40.

[58] تتفاوت سرعة ترسب Fall Velocity العوالق في المياه حسب وزنها، وحسب حركة المياه.

[59] الغبار الكوني Cosmic Dust: حبيبات غبارية منتشرة في الفضاء الخارجي، قد يدخل بعضها الغلاف الغازي للأرض، فيتساقط بفعل الجاذبية الأرضية نحو السطح.

[60] علاقة عكسية.

[61] علاقة إيجابية.

[62] Grant Gross, M, "Oceanography", P. 45.

في السنتيمتر المكعب؛ وعند درجة حرارة 20ْ مئوية، 1.0247 جرام، في السنتيمتر المكعب؛ وفي ذلك زيادة، مقدارها 0.0012 جرام، في السنتيمتر المكعب.

ولكن انخفاض درجات الحرارة، من 5ْ مئوية إلى الصفر المئوي، سيؤدي تغير الكثافة من 1.0277 إلى 1.0281 فقط؛ وفي ذلك زيادة، مقدارها 0.0004 جرام، في السنتيمتر المكعب.

تُعد الكثافة، والملوحة، ودرجة الحرارة، من الخواص المحافظة، في الكتل المائية. وتستخدم في تمييز تلك الكتل بعضها من بعض، وخاصة في الأعماق؛ لأن هذه الخواص، لا تتغير إلا عند الانتشار أو اختلاط بعضها ببعض.

ولأن القدر الأكبر من التغير في حرارة المياه، وتبادل الطاقة، يحدث في طبقة المياه السطحية، فإن التغيرات الرأسية في الكثافة، مع العمق، أكبر من التغيرات الأفقية، في الطبقة السطحية. وتتأثر كثافة المياه، أفقياً، بالتغير في درجات الحرارة، وخاصة في المحيط المفتوح، بعيداً عن تأثير التدفق النهري في الملوحة. ولكن، في محيطات العروض العليا، حيث درجات الحرارة منخفضة، معظم السنة، تتأثر كثافة المياه بتغيرات الملوحة تأثراً أكبر[63] (الشكل الرقم 459أ).

تمتد تحت الطبقة السطحية، التي لا تشغل سوى 2% من مياه البحار، طبقة متوسطة، في أعماق، تراوح بين 100 و1500 متر. هذه الطبقة تزداد فيها كثافة الماء، مع ازدياد العمق ازدياداً كبيراً. ويطلق على هذه الطبقة طبقة البيكنوكلاين Pycnocline[64]؛ وتحوي قرابة 18% من المياه المحيطية. ولأن كثافة الكتل المائية، تحدد الأعماق، التي تتحرك فيها تلك الكتل، فإن التغير السريع في الكثافة، مع العمق، في هذه الطبقة، يجعلها طبقة مستقرة. فلا يوجد فيها، في الغالب، تقلب للمياه، ولا تحرك رأسي للكتل المائية. وتفصل هذه الطبقة المياه السطحية، المنخفضة الكثافة، عن مياه الأعماق، العالية الكثافة، وتحول دون اختلاط إحداهما بالأخرى. ونظراً إلى تأثر الكثافة بالتغير في درجة الحرارة والملوحة، فإن وجود طبقة البيكنوكلاين مرتبط بوجود تغير، مع العمق، في كل من الملوحة هالوكلاين، ودرجة حرارة الماء (ثيرموكلاين[65] Thermocline)[66].

تختفي طبقة البيكنوكلاين، مثل طبقتي الهالوكلاين والثيرموكلاين، في العروض العليا، حيث تتصل المياه العميقة بالمياه السطحية، وتقلّ الفوارق بين كثافتيهما. وفي تلك العروض، تتشكل الكتل

---

[63] Harold Thurman, “Essentials of Oceanography”, P. 105.

[64] البيكنوكلاين Pycnocline: طبقة التغير السريع في كثافة الماء، وتفصل بين الطبقة السطحية والمياه العميقة، وهي مركبة من الكلمتين بيكنو Pycno: بمعنى كثافة، وكلاين Cline بمعنى انحدار أو تغير.

[65] ثيرموكلاين Thermocline: طبقة تحت المياه السطحية في المحيطات تنحدر فيها درجات حرارة المياه مع العمق بسرعة. وتمتد في الأعماق بين 100 متر و1500 متر تحت سطح الماء. وتسميتها مشتقة من كلمتي ثيرمو Thermo حراري، وكلاين Cline انحدار.

[66] Grant Gross, M, “Oceanography”, P. 45.

المائية، وتكتسب خصائصها، وتغوص إلى أعماق المحيطات، حيث تبقى سابحة في قيعانها، عشرات السنين.

أثر الملوحة في تغير كثافة الماء، مع تغير درجات الحرارة

تزداد كثافة الماء، مع انخفاض درجة الحرارة إلى درجة حرارة 3.98 ْ مئوية؛ ثم تأخذ في التناقص، بعد ذلك. وتسمى الدرجة 3.98 ْ مئوية درجة حرارة الكثافة القصوى للماء[67] Temperature of Maximum Density. ولكن، مع وجود الأملاح في مياه البحار والمحيطات، يتغير كثير من الخواص الفيزيائية لهذه المياه. ومن هذه الخواص درجة حرارة الكثافة القصوى، التي تنخفض كلما ازدادت الملوحة؛ لأنها مرتبطة ببداية تكون البلورات الثلجية؛ ووجود الأملاح الذائبة في الماء، يعوق تكون تلك البلورات.

ولا يقتصر ازدياد الملوحة على التأثير في درجة حرارة الكثافة القصوى، بل يتخطاها إلى خاصية أخرى، مرتبطة بها، وهي درجة حرارة التجمد الأولى Initial Freezing Point. فالماء النقي، يتجمد تماماً، عند درجة الصفر المئوي؛ ولكن ماء البحر، ليس له درجة تجمد محددة، لتغيير معدلات الملوحة. وذلك ناتج من أنه كلما تجمدت كمية من مياه البحر، طردت الأملاح، التي كانت ذائبة فيها، فأصبحت المياه المحيطية بها أكثر ملوحة؛ ما يجعلها تتطلب درجات حرارة أدنى، لكي تتجمد؛ إذ دائماً يبقى محلول ملحي، لا يمكن أن يتجمد، إلا إذا تعرض لدرجات حرارة شديدة الانخفاض Super Cooled.

إن العمليات، التي تخفض درجة حرارة التجمد الأولى، تخفض، كذلك، درجة حرارة الكثافة القصوى للماء، التي تهبط كلما ازدادت الملوحة. وعند نسبة ملوحة 24.7 في الألف، تتساوى الدرجتان عند –1.33 ْ مئوية[68] (الشكل الرقم 549ب). وعند ملوحة أكثر من 24.7 في الألف، ليس للماء درجة حرارة كثافة قصوى؛ إذ تزداد كثافته، باستمرار، مع انخفاض درجات الحرارة. لذلك، فمياه البحار والمحيطات، بمتوسط ملوحتها، الذي يصل إلى 35 في الألف، تقريباً، ليس لها درجة حرارة كثافة قصوى؛ وإنما يطّرد ازدياد كثافتها، كلما انخفضت درجات الحرارة[69] (الشكل الرقم 549ب).

---

[67] درجة حرارة الكثافة القصوى للماء Temperature of Maximum Density: هي درجة الحرارة التي يبلغ عندها الماء أقصى كثافة وتساوي 3.98 ْ مئوية.

[68] Grant Gross, M, “Oceanography”, P. 44.

[69] Harold Thurman, “Essentials of Oceanography”, P. 97.

درجة الحرارة: السخونة والبرودة

لا تسخن مياه البحار السطحية إلا أثناء النهار، ولا سيما بعد الظهيرة. وكمية الطاقة الممتصة، تعتمد على غطاء السحب المحلي، وزاوية سقوط أشعة الشمس (الجدول الرقم 67)، والتي تعتمد، بدورها، على دائرة العرض، والوقت من السنة؛ فتزداد الطاقة، عندما تكون الشمس عالية في السماء، وتقل كلما مالت الشمس نحو الأفق. وفي العروض، المدارية وتحت المدارية، تكون الشمس عالية في السماء، في كل الفصول؛ بينما في المناطق القطبية، لا ترتفع كثيراً عن الأفق؛ لذا، فالمناطق القطبية، يصلها كمية أقل من الطاقة. تسخن الأرض، إذاً، في العروض المدارية؛ ويبردها الإشعاع، في العروض القطبية العليا[70].

الطاقة الواصلة إلى الأرض من الشمس، عند سطح الغلاف الغازي تقريباً، ثابتة، معدلها 0.5 كالوري/سم^2، في الدقيقة؛ ولكن، لا يصل منه إلى سطح الأرض، بعد أن يقطع الغلاف الغازي، إلا 0.25 كالوري/سم^2/ دقيقة، في معدل 24 ساعة.

لو كان معدل الطاقة، الواصلة إلى سطح البحر، محصور التأثير في الطبقة العلوية منه، والبالغ عمقها متراً واحداً؛ لارتفعت درجة حرارة البحر 3.5° مئوية، تقريباً، في اليوم. ولكن معدل التغير اليومي، في حرارة المحيط المفتوح، يراوح بين 0.2° و0.3 مئوية. وهذا يوضح، أن الدخل اليومي من الطاقة الشمسية، تمتص بعضه، بسرعة، الطبقات القريبة من السطح؛ وبعضه الآخر، يستأثر به الغلاف الغازي. ولأن الطاقة المكتسبة، تتوزع على طبقة سميكة من المياه السطحية، فإنها لا تفقد كلها، أثناء الليل. لذا، وإضافة إلى السعة الحرارية العالية للماء، فإن عملية الخلط السطحي، تمنع التغيرات اليومية الكبيرة، في درجة حرارة المياه السطحية. ولكن، على اليابس، حيث لا يوجد خلط، تبقى الحرارة على السطح، في النهار؛ فتفقد، ليلاً، بسهولة. ولذلك، فإن المدى الحراري اليومي، على اليابس، أكبر منه في المحيط.

لو احتفظ المحيط بكل الطاقة، التي يمتصها، لوصلت مياه المحيط، في نحو 300 سنة، إلى درجة الغليان. ومن الواضح، أن هذا لا يحدث؛ إذ تظهر بقايا الكائنات البحرية القديمة، المحفوظة في الصخور، أن درجة حرارة المحيطات السطحية، لم تتغير، إلا قليلاً، خلال البليوني سنة الماضية؛ لذا، فإن المحيطات، لا تفقد من الطاقة إلا ما تمتصه من الإشعاع الشمسي، الواصل إلى سطح الماء؛ فهي، إذاً، في حالة توازن حراري (الشكل الرقم 549ج) (الجدول الرقم 68).

الحرارة المفقودة من سطح المحيط، مستمرة، بالليل والنهار، وفي جميع الفصول. وتجري من خلال عدة عمليات:

1. شعاع حراري في الفضاء.

---

[70] Harold Thurman, “Essentials of Oceanography”, P. 109

2. سخونة الغلاف الغازي بالملامسة (توصيل).

3. تبخر الماء.

نحو 40% من الإشعاع الشمسي الواصل، يتم فقده، من طريق الإشعاع إلى الفضاء. ومعظم هذا الإشعاع على شكل أشعة تحت الحمراء Infrared، بدلاً من الأشعة المرئية، التي يشعها سطح الشمس، الأشد حرارة.

جزء من الحرارة المفقودة، يذهب إلى الغلاف الغازي، حيث يحول بالتوصيل، كما تنتقل الحرارة إلى إناء على موقد. وسطح المحيط، في العادة، أدفأ من الهواء الملامس له، بدرجة مئوية واحدة.

يسهم التبخر بنصف ما يفقده المحيط من الحرارة، تقريباً. هذه الحرارة (الحرارة الكامنة للتبخر) تنطلق في الغلاف الغازي، حينما يتكاثف بخار الماء، ليسقط على شكل مطر أو ثلج. والغلاف الغازي، يكتسب جزءاً كبيراً من حرارته، بهذه العملية.

من آثار تسخين سطح المحيط، هو أنه يسبب البناء الطبقي الثلاثي للمحيط؛ فالخلط السريع، والمستمر، للطبقة السطحية، يؤدي إلى وجود طبقة سطحية متساوية الحرارة (Isothermal) بالاختلاط. ويفصل بين الطبقة السطحية، التي تسخنها الشمس، والطبقة العميقة الباردة، طبقة الثيرموكلاين Thermocline، حيث تتغير الحرارة، بسرعة، مع العمق. تحت الثيرموكلاين، يتغير درجات الحرارة، ببطء، مع العمق. هذه التغيرات في درجة الحرارة، تولد تغيرات في الكثافة؛ لذا، في معظم المناطق، الثيرموكلاين هو نطاق البيكنوكلاين نفسه.

تفاوت سخونهة الأرض، يسبب فروقاً كبيرة بين الأقاليم، المدارية والقطبية؛ فالمحيط أدفأ ما يكون (25 ـ 30ْ مئوية) في الأقاليم المدارية؛ وأبرد ما يكون (-1.7ْ مئوية) قرب القطبين. وتمتد أحزمة، من درجات حرارة سطح المحيط المتساوية، بين الشرق والغرب.

خطوط الحرارة السطحية المتساوية Surface Isotherms، وهي خطوط، تصل نقاطاً متساوية الحرارة، في المحيط ـ تنحرف عن محورها الشرقي الغربي، قرب القارات، وبخاصة في شمال غرب الأطلسي وشمال غرب الهادي؛ نتيجة للظروف المناخية القارية، والتيارات البحرية، التي تميل إلى الجريان موازية لسواحل القارات. بعض التيارات، تنقل الماء الدافئ إلى القطبين؛ وبعضها الآخر، ينقل الماء البارد إلى منطقة الاستواء (تيار الخليج وتيار لبرادور).

معدلا درجة الحرارة السطحية للمحيطات، في نصفي الكرة، الشمالي والجنوبي متشابهان، إلى حد ما. إلا أن النصف الشمالي أكثر دفئاً؛ ربما لانتشار القارات فيه. ويصبح بينهما الفرق أكثر وضوحاً قرب القطبين، نحو 60ْ شمالاً وجنوباً، حيث يعظم انتشار اليابس في النصف الشمالي، وتتصل مياه المحيطات بعضها ببعض، في النصف الجنوبي.

الملوحة: التبخر والتساقط

تغير الملوحة، في المحيط المفتوح، هو أقل حدة من تغير درجة الحرارة. وتغيرات الملوحة، سببها الرئيسي، هو التبخر، والتساقط، والتدفق النهري.

قرب القطبين، تسهم الثلوج البحرية في تجمد الماء العذب، وبقاء الأملاح. هذه العمليات، تعمل على سطح الماء، كما تعمل عمليات التسخين والتبريد. والتغيرات الكبيرة في الملوحة، مع العمق، تكون ما يعرف بـ هالوكلاين Halocline (Halo = SaltP Cline = Slope).

تؤثر تغيرات الملوحة في كثافة الماء (الشكل الرقم 549د)؛ فتغيرها 1%، يؤدي تغيرات أكبر في الكثافة من تغير درجة الحرارة 1ْ مئوية؛ لذا، أينما كان هناك تغير كبير في الملوحة السطحية، بوساطة التساقط، فإن النيكنوكلاين، تكون في نطاق الهالوكلاين نفسه. وعلى الرغم من التأثير المحلي المهم لانخفاض الملوحة، فإن الثيرموكلاين، في معظم أجزاء المحيط، تتحكم في النيكنوكلاين؛ وذلك ناتج نن المدى الحراري الكبير ـ107ْ ـ 30ْ مئوية لمياه البحر؛ بالمقابل، يعد مدى الملوحة صغيراً 33%ـ37%.

التبخر من سطح البحر، يعتمد على:

1. الطاقة الشمسية الواصلة.
2. سرعة الرياح.
3. الرطوبة النسبية للهواء.

نظراً إلى كثافة الأشعة الواصلة في الأقاليم المدارية، فإنها تشهد معدلات تبخر، هي أكبر منها في الأقاليم القطبية.

تبلغ معدلات التبخر أقصاها، في الأقاليم تحت المدارية، قرب دائرة 35ْ شمالاً وجنوباً، حيث تهب الرياح البخارية، طوال السنة، والسماء صافية، والهواء جاف نسبياً. وارتفاع الملوحة في هذه المناطق، يظهر أنها مناطق، يزداد فيها البخر.

قرب خط الاستواء، تقل سرعة الرياح، وتكثر السحب؛ فيقل التبخر، ويزداد التساقط. والتساقط يزداد بعامة، حول خط الاستواء، في العروض العليا؛ وفي المناطق الساحلية، حيث تنخفض ملوحة المياه السطحية.

المصادر والمراجع

المراجع العربية

1. عبدالعزيز طريح شرف، "جغرافية البحار"، مكتبة الخريجي، الرياض، 1984.
2. حسن سيد أحمد أبوالعينين، "دراسات في جغرافية البحار والمحيطات"، مؤسسة الثقافة الجامعية، الإسكندرية، 1976.
3. يوسف عبدالمجيد فايد، "دراسات في الأوقيانوغرافيا"، دار النهضة العربية، بيروت، 1972.
4. مهدي محمد علي الصحاف، "جغرافية البحار والمحيطات"، 1982.
5. محمد عبدالغني مشرف، "أساسيات علم الأرض"، دار المريخ، الرياض، 1997.

المراجع الأجنبية

1. Arthur William, "Introduction of Chemistry", Addison – Wesley Publishing Co., London, 1981.
2. Grant Gross, M, "Oceanography", Charles Merrill Pub. Co., Columbus, 1985.
3. Harold Thurman, "Essentials of Oceanography", Charles Merrill Pub. Co., Sedney, 1983.
4. Hornberger, G.; Raffensperger, J.; Wiberg, P.; Eshleman, K., "Elements of Physical Hydrology", John Hopkins University Press, London.
5. Payne Charles, "Physical Science" W. M. Brown publishers, FWA, 1974.
6. Tarbuck & Lutgens, "Earth Science", Charles Merrill Pub. Co., Columbus, 1985.